



Ragam Kesulitan Siswa SMA dalam Menguasai Suhu dan Kalor

A N Laili*, Sutopo, M Diantoro

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, JL. Semarang 5, Malang, 65145, Indonesia

*E-mail: alfianti08@gmail.com

Received
26 October 2020

Revised
18 February 2021

Accepted for Publication
18 March 2021

Published
23 June 2021



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Abstract

This article aims to uncover the difficulty of students in mastering the topic of temperature and heat. Fragmented knowledge results in student's difficulty in mastering concepts so that it impacts on students' problem-solving abilities. One of the lessons that can train to improve students' mastery of concepts is Modeling Instruction (MI). This research has applied MI learning on the topic of temperature and heat at the high school level.

Keywords: modeling instruction, mastery of concepts, heat and temperature

Abstrak

Artikel ini bertujuan untuk mengungkap kesulitan siswa dalam menguasai topik suhu dan kalor. Pengetahuan yang terpotong-potong mengakibatkan siswa kesulitan dalam menguasai konsep sehingga berdampak pada kemampuan pemecahan masalah siswa. Salah satu pembelajaran yang dapat melatih meningkatkan penguasaan konsep siswa adalah *Modeling Instruction* (MI). Penelitian ini telah menerapkan pembelajaran MI pada topik suhu dan kalor ditingkat SMA.

Kata Kunci: *modeling instruction*, penguasaan konsep, suhu dan kalor

1. Pendahuluan

Penguasaan konsep merupakan salah satu fokus utama para pengajar. Melalui penguasaan konsep yang benar dan mendalam siswa dapat menjelaskan fenomena fisika yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Seringkali dalam menjelaskan suatu fenomena fisika siswa tidak menggunakan konsep yang sesuai [1], [2]. Hal ini dikarenakan siswa sudah membangun pengetahuannya sendiri tentang alam berdasarkan pengalaman mereka sehari-hari [1]. Beberapa pengetahuan yang dibangun siswa masih kurang sesuai dengan pengetahuan ilmiah, kalau pun sesuai, kebenarannya hanya dalam konteks yang sangat terbatas [1], [3], [4]. Agar siswa dapat menghubungkan konsep-konsep yang ada, maka perlu untuk mengetahui kesulitan-kesulitan yang dihadapi oleh siswa.

Salah satu topik fisika yang dianggap sulit namun memiliki andil besar dalam menyelesaikan masalah lintas cabang ilmu pengetahuan adalah suhu dan kalor. Beberapa penelitian telah mengungkapkan kesulitan siswa dalam menguasai topik suhu dan kalor [5]–[9]. Kesulitan-kesulitan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya siswa gagal dalam mengaktivasi konsep yang berhubungan dengan suhu dan kalor. Tidak hanya itu, siswa juga kurang terampil dalam mengoperasikan persamaan matematis serta kesulitan menganalisis besaran-besaran fisis [9], [10]. Hal inilah yang menyebabkan siswa kesulitan menguasai konsep suhu dan kalor secara utuh.

Klaim dari beberapa penelitian menyatakan bahwa pembelajaran *Modeling Instruction* efektif untuk melatih siswa dalam menguasai konsep dengan benar [11]–[14]. Terdapat dua tahapan pokok dalam pembelajaran *Modeling Instruction* [13]. Pertama, Tahap *model development*, bertujuan untuk mempersiapkan dan melatih siswa dalam membangun model konseptual untuk menjelaskan suatu fenomena. Kedua, tahap *model deployment* bertujuan menerapkan model untuk menjelaskan fenomena yang telah diamati atau membuat prediksi.

Modeling instruction juga telah diterapkan pada beberapa topik fisika tentang gerak dan energi seperti hukum newton [15], kinematika [16], elastisitas dan energi [17] serta teori kineti gas [12], [18]. Selain itu, pembelajaran *modeling* pada materi suhu dan kalor yang dilakukan oleh Ni'mah menunjukkan hasil bahwa miskonsepsi siswa mengalami penurunan sebesar 33% dan adanya peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa setelah pembelajaran [9]. Namun, sejauh ini sulit ditemukan penelitian mengenai penguasaan konsep siswa pada materi suhu dan kalor yang menggunakan pembelajaran *modeling instruction*. Padahal, materi suhu dan kalor merupakan konsep yang penerapannya sering ditemui pada kehidupan sehari-hari [19], [20], dan sering terjadi miskonsepsi.

Pengembangan materi suhu dan kalor pada penelitian ini terbagi dalam tiga submateri yaitu suhu dan permukaan, kalor dan pengaruhnya pada benda, dan perpindahan kalor. Langkah-langkah pelaksanaan *modeling instruction* submateri kalor dan pengaruhnya pada benda dalam penelitian ini dipaparkan sebagai berikut. Tahapan pertama adalah *model development*, siswa mengamati video sebalok es yang dipanaskan untuk menunjukkan fenomena mencair, mendidih dan proses kenaikan suhu suatu benda. Siswa diberi beberapa pertanyaan berdasarkan video yang telah ditayangkan untuk membentuk pemahaman umum dari materi yang akan diajarkan. Kemudian, siswa dibagi dalam kelompok belajar yang terdiri dari 4-5 orang siswa. Dalam kelompok belajarnya, siswa dibagikan lembar kerja siswa. Lembar kerja yang diberikan kepada siswa berisi tentang pertanyaan-pertanyaan yang dapat membantu siswa memodelkan persamaan pada submateri kalor dan pengaruhnya pada benda. Selain itu, lembar kerja juga berisi latihan soal dan petunjuk percobaan. Peran guru dalam tahapan ini yaitu sebagai fasilitator untuk mengarahkan siswa dalam mengerjakan Lembar Kerja Siswa. Langkah terakhir pada tahapan ini yaitu guru meminta salah satu kelompok siswa untuk mempresentasikan hasil diskusi mereka ke depan kelas dan guru membantu siswa dalam membuat model yang benar. Selanjutnya tahapan kedua yaitu *model deployment*. Pada tahapan ini siswa diminta mengerjakan latihan soal yang terdapat pada Lembar Kerja Siswa, tujuannya yaitu untuk menerapkan model yang telah mereka buat pada tahapan *model development* dan juga untuk memperdalam penguasaan konsep siswa.

Paparan langkah pembelajaran tersebut diyakini dapat meningkatkan penguasaan konsep siswa. Namun demikian, perlu adanya pengkajian secara empiris. Selain itu, mengingat hasil penelitian sebelumnya tentang kesulitan-kesulitan siswa dalam menguasai konsep suhu dan kalor, maka penting untuk mengidentifikasi kesulitan-kesulitan yang masih dialami siswa setelah pembelajaran dilakukan. Artikel ini merupakan bagian dari hasil penelitian yang membahas tentang penerapan pembelajaran *modeling instruction* untuk meningkatkan penguasaan konsep siswa SMA pada topik suhu dan kalor. Fokus artikel ini adalah tentang kesulitan-kesulitan yang masih dialami siswa SMA kelas XI setelah pembelajaran dengan *Modeling Instruction* (MI) pada materi suhu dan kalor.

2. Metode Penelitian

Subjek penelitian ini merupakan siswa kelas XI di salah satu SMA Negeri di Kota Batu. Jumlah keseluruhan siswa sebanyak 60 siswa dan telah menempuh materi Suhu dan Kalor. Pembelajaran dilakukan melalui *modeling instruction* (MI).

Pengumpulan data diperoleh melalui tes penguasaan konsep. Instrument yang digunakan berupa tes penguasaan konsep yang dilakukan dengan memberikan sebanyak 20 butir soal pilihan ganda beralasan. Sebaran soal tes penguasaan konsep pada masing-masing indikator dapat dilihat pada Tabel 1. Soal-soal yang digunakan, diadaptasi dari soal-soal konseptual yang terdapat dalam buku teks fisika dasar [21] dan beberapa soal yang dikembangkan oleh peneliti. Soal telah divalidasi oleh dosen ahli sebelum diberikan kepada siswa. Setelah divalidasi, soal diuji cobakan pada 128 siswa yang sebelumnya telah menempuh materi suhu dan kalor. Hasil analisis pada instrumen ini, meliputi nilai reliabilitas sebesar 0.76; daya beda soal dalam rentang 0.36 sampai dengan 0.90 dengan rata-rata 0.63; taraf kesukaran soal dalam rentang 0.60 sampai dengan 0.72 dengan rata-rata 0.64; serta koefisien korelasi point biserial dalam rentang 0.28 sampai dengan 0.61 dengan rata-rata 0.44.

Data kuantitatif diperoleh melalui pretest dan posttest yang disajikan dalam bentuk persentase. Penyajian data persentase terbagi menjadi tiga kategori di tiap indikator, yaitu jawaban benar, jawaban salah, dan tidak menjawab. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya persentase jumlah siswa ketika posttest pada masing-masing kategori. Kesulitan-kesulitan siswa dipilih melalui nilai *n-gain* tes penguasaan konsep siswa yang berada pada kategori rendah.

Tabel 1. Sebaran Soal Tes Penguasaan Konsep pada Masing-masing Indikator

Indikator Tes Penguasaan Konsep	No Soal
Siswa dapat menjelaskan konsep pemuaian pada benda	1,6,13
Siswa dapat menerapkan persamaan pemuaian pada benda	3,12
Siswa dapat menjelaskan konsep kalor dan hubungannya dengan suhu benda	10,16,20
Siswa dapat menerapkan persamaan kalor terhadap perubahan suhu	15,18
Siswa dapat menerapkan persamaan azas Black	4,5,19
Siswa dapat menerapkan persamaan kalor terhadap perubahan wujud benda	11,14
Siswa dapat mengidentifikasi perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi	2,8,9
Siswa dapat menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi laju kalor secara konduksi, konveksi, dan radiasi	7
Siswa dapat menerapkan persamaan laju kalor secara konduksi dan radiasi	17

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kesulitan Siswa pada Subtopik Perpindahan Kalor

Butir soal nomor 9 bertujuan untuk melihat kemampuan siswa dalam penerapan kasus yang berkaitan dengan perpindahan kalor. Soal nomor 9 menyajikan peristiwa tentang gangan pintu yang terasa lebih dingin dari pada pintu itu sendiri. Siswa diminta untuk membandingkan nilai konduktivitas yang mempengaruhi keadaan tersebut. Pertanyaan pada butir soal nomor 9 ditulis sebagai berikut.

Sebuah ruangan yang memiliki suhu yang sama, gagang pintu terasa lebih dingin daripada pintu itu sendiri. penyebab terjadinya fenomena tersebut adalah

Benda	Bahan	Nilai Konduktivitas (W/mK)	Massa Jenis (J/m ³)	Kalor Jenis (J/kg K)
Pintu	Kayu	$1,2 \times 10^{-4}$	$0,5 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$
Gagang Pintu	Kuningan	$1,0 \times 10^{-2}$	$8,4 \times 10^3$	$3,8 \times 10^3$

a. Gagang pintu memiliki nilai konduktivitas panas lebih besar daripada pintu
b. Gagang pintu memiliki kalor jenis lebih kecil daripada pintu
c. Nilai konduktivitas tidak berpengaruh pada fenomena ini
d. Massa jenis gagang pintu lebih besar daripada pintu

Gambar 1. Soal Konsep Perpindahan Kalor**Tabel 2.** Distribusi Jawaban Siswa pada Soal Nomor 9

Jawaban	Jumlah Siswa
A*	20
B	31
C	5
D	4
Total	60

*) = jawaban benar

Dalam menjawab soal pada Gambar 1 sebanyak 20 siswa (33,3%) memilih jawaban benar A. 31 siswa (51,6%) memilih jawaban salah B. 5 siswa (8,3%) memilih jawaban salah C dan 4 siswa (6,7%) memilih jawaban salah D.

Alasan siswa dalam memilih tiap pilihan jawaban dijelaskan sebagai berikut. Terdapat 5 siswa (8,3%) yang memiliki pemahaman utuh. Kelima siswa tersebut beralasan bahwa kuningan merupakan penghantar panas yang baik karena ketika sebuah benda ditempelkan pada permukaan kuningan energi dari benda itu akan terserap dengan cepat ke kuningan. Oleh karenanya ketika tangan memegang gagang pintu, energi pada kulit tangan akan berpindah ke kuningan. Jumlah energi yang ada di kulit

tangan berkurang dan mengakibatkan tangan merasa dingin. Selain itu, sifat konduktor atau isolator suatu bahan dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dari bahan tersebut. Terdapat 11 siswa (18,3%) dengan jelas hampir benar namun kurang memberikan penjelasan. Siswa mengungkapkan alasannya berdasarkan pada sifat kuning sebagai penghantar panas yang baik. Namun siswa masih kesulitan dalam memaparkan poses perpindahan energi panas. Sedangkan keempat siswa (6,7%) tidak memberikan alasannya. Berdasarkan paparan tersebut, dapat diketahui walaupun terdapat 20 siswa (33,3%) menjawab benar hanya lima siswa (8,3%) yang memiliki pemahaman utuh. Terdapat 31 siswa (51,6%) memilih jawaban salah B. Kebanyakan siswa memiliki pemikiran bahwa kalor jenis yang menyebabkan gagang pintu terasa lebih dingin. Alasan yang diungkap siswa adalah kalor jenis yang mempengaruhi suhu suatu benda. Siswa menggunakan pengetahuannya tentang $c = \frac{Q}{m\Delta T}$ untuk menjelaskan bahwa kalor jenis berhubungan dengan suhu benda. Terdapat lima orang siswa (8,3%) beralasan bahwa suhu benda dipengaruhi kalor jenis dan kalor jenis berhubungan dengan suhu benda. Siswa lainnya tidak memberikan alasan.

3.2 Kesulitan Siswa pada Subtopik Pemuaiian

Butir soal nomor 13 menyajikan peristiwa dua benda berbeda karakteristik yang dipanaskan bersamaan. Siswa diminta untuk menentukan bola mana yang mengalami pemuaiian lebih besar. Pertanyaan pada butir soal nomor 13 ditulis sebagai berikut.

- Dua bola terbuat dari logam yang sama dan memiliki jari-jari yang sama, tetapi yang satu berongga dan yang lainnya padat. Bola dipanaskan dengan suhu yang sama. Bola manakah yang mengalami pemuaiian lebih besar?
- Keduanya mengalami pemuaiian yang sama
 - Bola padat memuai lebih banyak.
 - Bola berongga memuai lebih banyak.
 - Keduanya tidak mengalami pemuaiian

Gambar 2. Soal Konsep Pemuaiian

Tabel 3. Distribusi Jawaban Siswa pada Soal Nomor 13

Jawaban	Jumlah Siswa
A*	18
B	16
C	18
D	7
Tiak Menjawab	1
Total	60

*) = jawaban benar

Berdasarkan Tabel 3 jawaban benar siswa didominasi oleh pilihan jawaban benar A sebanyak 18 siswa (30%) dan jawaban salah C sebanyak 18 siswa (30%). 16 siswa (26,7%) memilih jawaban salah B, 7 siswa (11,7%) memilih jawaban salah D dan 1 siswa tidak menjawab.

Pada butir soal nomor 13, beberapa alasan yang diungkap saat memberikan jawaban adalah sebagai berikut. Sebanyak 7 (11,6%) siswa yang memilih jawaban benar A beralasan bahwa bola akan mengalami pemuaiian yang sama karena kedua bola terbuat dari logam yang sama dan jari-jari yang sama. Sebanyak 9 siswa (15%) beralasan bahwa kedua bola memiliki koefisien muai benda yang sama sehingga kedua bola memuai sama besar. Sedangkan dua siswa (3,3%) beralasan bahwa suhu yang diberikan pada kedua bola adalah sama. Terdapat 14 siswa (23,3%) yang memilih jawaban salah C beralasan bahwa rongga yang berada dalam bola akan mengakibatkan bola cepat memuai. Sebanyak 16 siswa (26,67%) yang memilih jawaban B beralasan bahwa bola padat akan mengalami pemuaiian lebih besar dikarenakan pergerakan atom-atom ketika dipanaskan. Berdasarkan paparan tersebut, sebagian besar siswa masih kurang memahami mengenai konsep pemuaiian. Siswa yang memilih jawaban D tidak memberikan alasan mengapa memilih jawaban tersebut.

3.3 Kesulitan Siswa pada Subtopik Hubungan Kalor dan Perubahan Suhu

Butir soal nomor 16 menyajikan kegiatan percobaan pada tiga jenis bahan yang dipanaskan bersamaan. Siswa diminta untuk mengurutkan besarnya energi yang diterima setiap benda. Pertanyaan pada butir soal nomor 16 ditulis sebagai berikut.

Seorang siswa melakukan percobaan pada tiga benda, yaitu besi, kaca dan aluminium yang masing-masing memiliki massa 1 kg dan suhu awal 10°C . Apabila masing-masing benda dipanaskan hingga suhunya bertambah 20°C , maka urutan dari benda-benda tersebut yang menerima energi dari yang terkecil ke terbesar adalah

Nama Bahan	Massa Jenis (kg/m^3)	Koefisien Muai ($^{\circ}\text{C}$)	Kalor Jenis ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)
Besi	7900	12×10^{-6}	900
Kaca	2600	9×10^{-6}	670
Aluminium	2700	25×10^{-6}	460

a. Besi, kaca, aluminium
 b. Kaca, besi, aluminium
 c. Aluminium, besi, kaca
 d. Aluminium, kaca, besi

Gambar 3. Soal Konsep Hubungan Kalor dan Perubahan Suhu

Tabel 4. Distribusi Jawaban Siswa pada Soal Nomor 16

Jawaban	Jumlah Siswa
A*	12
B	24
C	18
D	6
Total	60

*) = jawaban benar

Berdasarkan Tabel 4 jawaban terbanyak siswa adalah jawaban B, yaitu sebanyak 24 siswa (40%). Terdapat 12 siswa (20%) memilih jawaban benar A. Sebanyak 18 siswa (30%) memilih jawaban C dan enam siswa (10%) memilih jawaban D.

Alasan-alasan yang diungkapkan oleh siswa, menunjukkan bahwa penguasaan konsep siswa mengenai kalor dan pengaruhnya pada benda belum kuat. Hal ini ditunjukkan oleh dominasi jawaban siswa yang memilih jawaban salah B. Siswa menganggap bahwa kaca, besi, dan aluminium memiliki koefisien muai dari kecil ke besar. Jadi dibutuhkan energi yang lebih besar untuk bertambah panjang dan delapan siswa (13,3%) menjawab dengan alasan tersebut. Tiga siswa (5%) lainnya beralasan massa jenis dan kalor jenis tidak berpengaruh dan empat siswa (6,7%) beralasan bahwa energi berpengaruh pada panjang benda ketika dipanaskan. Meskipun siswa telah melakukan percobaan sendiri dan berdiskusi dengan guru, namun ketika menyelesaikan percobaan, siswa masih kurang tepat menggunakan pengetahuan yang relevan. Kesalahan tersebut bukan semata-mata siswa tidak memiliki pengetahuan tentang hubungan kalor dan suhu yang berkaitan dengan kalor jenis benda, melainkan siswa masih gagal dalam mengaktivasi pengetahuan tersebut. Hal ini dapat terjadi karena adanya pemikiran yang lebih menonjol dalam menyelesaikan soal [22].

Kesulitan-kesulitan yang dialami siswa tersebut, disebabkan oleh kegagalan siswa dalam menguasai beberapa konsep. Penyebabnya antara lain yaitu pertama, siswa masih memiliki pemahaman yang tidak utuh atau terpotong-potong. Ketika mengerjakan soal mereka bisa menjawab namun selalu mengambil keputusan yang tidak tepat pada jawaban akhir. Kedua, kesulitan siswa dalam mengintegrasikan pengetahuan. Siswa masih sulit dalam menggabungkan pengetahuan yang telah mereka miliki ke dalam peristiwa/fenomena baru sehingga mereka sering menggunakan intuisi naifnya untuk menjawab soal-soal yang kompleks. Ketiga, siswa telah memiliki semua pengetahuan

tentang konsep suhu dan kalor, namun mereka gagal mengaktivasi pengetahuannya ke dalam *working memory*nya.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan paparan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa *modeling instruction* dapat meningkatkan penguasaan konsep siswa pada materi suhu dan kalor. Peningkatan penguasaan konsep berdasarkan nilai *n-gain* siswa sebesar 0,37 yang termasuk dalam kategori sedang. Namun masih terdapat kesulitan yang dialami siswa dalam penguasaan konsep suhu dan kalor dengan pembelajaran *modeling instruction* yaitu (1) siswa masih kesulitan menganalisis perpindahan kalor melalui sifat suatu benda yang dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dari suatu bahan, (2) siswa masih kesulitan memahami pemuaian suatu benda yang dipengaruhi oleh perubahan suhu dan koefisien muai benda, (3) siswa masih kesulitan menganalisis hubungan kalor dan suhu yang berkaitan dengan kalor jenis benda.

Meninjau masih adanya kesulitan-kesulitan yang dialami siswa, maka perlu adanya penekanan konsep dengan cara memberikan lebih banyak lagi latihan soal terkait fenomena pada materi suhu dan kalor sehingga kesulitan dapat lebih diminimalkan lagi.

Daftar Rujukan

- [1] J. L. Docktor and J. P. Mestre, "Synthesis of discipline-based education research in physics," *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Educ. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–58, 2014, doi: 10.1103/PhysRevSTPER.10.020119.
- [2] D. E. Meltzer, "Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course," *Am. J. Phys.*, vol. 72, no. 11, pp. 1432–1446, 2004, doi: 10.1119/1.1789161.
- [3] A. A. diSessa, "Toward an Epistemology of Physics," *Cogn. Instr.*, vol. 10, no. 2–3, pp. 105–225, 1993, doi: 10.1080/07370008.1985.9649008.
- [4] B. W. Frank, S. E. Kanim, and L. S. Gomez, "Accounting for variability in student responses to motion questions," *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Educ. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–11, 2008, doi: 10.1103/PhysRevSTPER.4.020102.
- [5] A. A. Alwan, "Misconception of heat and temperature among physics students," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 12, pp. 600–614, 2011, doi: 10.1016/j.sbspro.2011.02.074.
- [6] U. Azizah, "Pengaruh Pembelajaran Learning Cycle 7E Berbasis STEM terhadap Penguasaan Konsep dan Berpikir Kreatif Materi Suhu dan Kalor," 2019.
- [7] V. D. Kulkarni and P. S. Tambade, "Enhancing the learning of thermodynamics using computer assisted instructions at undergraduate level," *Eurasian J. Phys. Chem. Educ.*, vol. 5, no. 1, pp. 2–10, 2013.
- [8] S. N. W. Silung, S. Kusairi, and S. Zulaikah, "Diagnosis Miskonsepsi Siswa SMA di Kota Malang pada Konsep Suhu dan Kalor Menggunakan Three Tier Test," *J. Pendidik. Fis. dan Teknol.*, vol. 2, no. 3, p. 95, 2016, doi: 10.29303/jpft.v2i3.295.
- [9] S. M. Ni'mah, "Analisis Miskonsepsi dan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Materi Suhu dan Kalor Menggunakan Pembelajaran Modeling Instruction Disertai Web-Based Formative Assessment," 2019.
- [10] E. Ekici, "Why Do I Slog Through the Physics?: Understanding high school students' difficulties in learning physics," *J. Educ. Pract.*, vol. 7, no. 7, pp. 95–107, 2016.
- [11] E. Brewster, L. Kramer, and G. O'Brien, "Modeling instruction: Positive attitudinal shifts in introductory physics measured with CLASS," *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Educ. Res.*, vol. 5, no. 1, 2009, doi: 10.1103/PhysRevSTPER.5.013102.
- [12] L. Dukerich, "Applying Modeling Instruction to High School Chemistry To Improve Students' Conceptual Understanding," *J. Chem. Educ.*, vol. 92, no. 8, pp. 1315–1319, 2015, doi: 10.1021/ed500909w.
- [13] J. Jackson, L. Dukerich, and D. Hestenes, "Modeling Instruction : An Effective Model for Science Education.," *Sci. Educ.*, vol. 17, no. 1, pp. 10–17, 2008.
- [14] K. L. Malone, "Correlations among knowledge structures, force concept inventory, and problem-solving behaviors," *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Educ. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–15, 2008, doi: 10.1103/PhysRevSTPER.4.020107.

-
- [15] D. W. Kilpela, "the Effects of Modeling Instruction on Student Learning of a Newtonian Force Concept," 2013.
- [16] A. Pawl, A. Barrantes, and D. E. Pritchard, "Modeling applied to problem solving," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1179, pp. 51–54, 2009, doi: 10.1063/1.3266752.
- [17] E. Brewster and V. Sawtelle, "Modelling instruction for university physics: Examining the theory in practice," *Eur. J. Phys.*, vol. 39, no. 5, 2018, doi: 10.1088/1361-6404/aac236.
- [18] D. M. Cullen, "Modeling Instruction: A Learning Progression That Makes High School Chemistry More Coherent to Students," *J. Chem. Educ.*, vol. 92, no. 8, pp. 1269–1272, 2015, doi: 10.1021/acs.jchemed.5b00544.
- [19] M. Başer, "Effect of conceptual change oriented instruction on remediation of students' misconceptions related to heat and temperature concepts," *J. Maltese Educ. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 64–79, 2006, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117.
- [20] S. R. Pathare and H. C. Pradhan, "Students' misconceptions about heat transfer mechanisms and elementary kinetic theory," *Phys. Educ.*, vol. 45, no. 6, pp. 629–634, 2010, doi: 10.1088/0031-9120/45/6/008.
- [21] R. a. Serway and J. W. Jewett, "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 7 ed," *Brooks/cole*, 2008.
- [22] D. Hammer, "Student resources for learning introductory physics," *Am. J. Phys.*, vol. 68, no. S1, pp. S52–S59, 2000, doi: 10.1119/1.19520.